Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter: Professor Dr. Hans Lenz)
des Instituts für Klinisch- theoretische Zahn- Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin

---

ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE BEGINNENDE ARTIFICIELL MIT HILFE DER GOLDPLATTENTECHNIK NACH ÖSTBY IN VIVO ERZEUGTE SCHMELZKARIES

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Frank Hammler
aus Berlin

1973

Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter: Professor Dr. Hans Lenz)
des Instituts für Klinisch- theoretische Zahn- Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin

---

ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE BEGINNENDE ARTIFICIELL MIT HILFE DER GOLDPLATTENTECHNIK NACH ÖSTBY IN VIVO ERZEUGTE SCHMELZKARIES

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Frank Hammler
aus Berlin

Referent: Professor Dr. H. Lenz
Korreferent: Professor Dr. W. Schwarz

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit der Genehmigung des
Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 26. 6. 73

M E I N E N E L T E R N

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552710_0108

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

Seite

I. Einleitung 3

II. Literaturübersicht 4

III. Material und Methode 11

A. Schmelzfacetten 11
B. Goldplättchen 12
C. Facettenträger 12
D. Versuchsablauf 13
E. Vorbereitung der Facetten zur Auswertung 14

IV. Ergebnisse 16

A. Normale Schmelzoberfläche 16
B. Kontrollfläche unter dem Goldplättchen .. 16
(Normale Schmelzfläche)
1. Plaques 17
2. Schmelzoberfläche 18
C. Gummipolierte Schmelzoberfläche 19
D. Mit Duraphat lackierte Schmelzoberfläche 21

V. Diskussion 23

VI. Zusammenfassung 31

VII. Literaturverzeichnis 33

Lebenslauf 41

I. EINLEITUNG

Die Karies stellt in epidemiologischer Sicht ein weltweites Problem dar. Im nord- und mitteleuropäischen Raum sind derzeit etwa 99 % der Bevölkerung von Zahnkaries betroffen. Dieses Problem ist umso schwerwiegender, wenn man die Folgeerscheinungen der Karies bedenkt, die eine ernste Beeinträchtigung der Volksgesundheit darstellen. Dies sind in erster Linie entzündliche Veränderungen im Kieferbereich, Erkrankungen der Nebenhöhlen und letztlich Magen-Darmstörungen durch Zahnverlust.

Die bisherige Forschung erbrachte Erkenntnisse, die sich gestrafft auf folgende drei Punkte zusammenfassen lassen:

1. Ohne Bakterien gibt es keine Karies
2. Ohne spaltbares Material gibt es keine Karies
3. Ohne Kontakt des spaltbaren Materials und der Bakterien mit der Schmelzoberfläche gibt es keine Karies

Fehlt eine dieser Voraussetzungen, so kann auch keine Karies entstehen.

In der modernen Kariesforschung ist der oberflächennahe Schmelz und das umgebende Milieu in den letzten Jahren immer mehr in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt, denn es besteht kein Zweifel, daß der Beginn der Karies mit den Strukturen der Schmelzoberfläche in engstem Zusammenhang steht.

Aufgabe dieser Arbeit soll es sein, mit Hilfe der Goldplattentechnik nach ÖSTBY auf vorher festgelegten Schmelzbereichen künstlich in vivo ein kariogenes Milieu zu schaffen. Es soll dabei überprüft werden, ob sich dadurch in vivo an Schmelzfacetten experimentell eine Karies erzeugen läßt. Ferner soll festgestellt werden, ob sich die Kariesdisposition durch Veränderung der Schmelzoberfläche beeinflussen läßt. Die Untersuchung soll mit dem Elektronenmikroskop durchgeführt werden.

II. L I T E R A T U R Ü B E R S I C H T

Der Anstieg des Kariesbefalls der Bevölkerung im mitteleuropäischen Raum vom Mittelalter bis in die Neuzeit wurde eingehend u.a. von EULER (1936, 1939) untersucht. Danach hat sich der Kariesbefall in den letzten beiden Jahrhunderten nahezu verdoppelt. Dieser Befund unterstreicht eindringlich, welche Bedeutung der Forschung auf diesem zahnmedizinischen Sektor zukommt.

Wegweisend für die moderne Kariesforschung waren die Arbeiten MILLER's um die Jahrhundertwende. Seine Definition der Karies als ein chem.-parasitärer Prozeß hat die Kariesforschung seit dieser Zeit geprägt und ihre Zielrichtung bestimmt. Das Hauptziel fast aller weiteren Forschungen war es daher, die Ursachen der kariösen Zerstörung an den Zahnhartsubstanzen zu ergründen. Dabei galt es, kariesauslösende Mikro-Organismen zu finden und gegebenenfalls zu isolieren und die Bedingungen herauszufinden, unter denen die Erreger wirksam werden.

So waren es KRUSE (1929), BUNTEN (1928), HEIM (1924), ZILLGITT (1938) u.a., die unter einfachen Bedingungen Bakterien aus kariösem Dentritus entnahmen und zu züchten versuchten. Die Vermehrung auf Nährböden gelang in erster Linie mit Keimen, die ohnehin ständig in der Mundhöhle anzutreffen waren. Ihnen, wie z.B. streptococcus lacticus oder baz. acidophilus wurde auch anfangs die Auslösung der Karies zugesprochen.

GINS (1939) bebrütete Zähne mit kariösen Defekten und isolierte streng anaerob wachsende Bakterien, wie Leptotricheen und baz. melaninogenicum. Er spricht von einem infektiösen Prozeß, nachdem schon ANDREE (1934) und MATTIG (1938) erklärt hatten, daß solche Keime in der frühkindlichen Mundhöhle nicht zu isolieren sind, sondern erst vom

Erwachsenen auf das Kind übertragen werden. Als erste Möglichkeit der Kariesbekämpfung wurde daher die Notwendigkeit angesehen, diese Übertragung von Eltern auf Kind wirksam einzuschränken.

Da nach GINS' Ansicht die Bakterien reine "Dentinzerstörer" sind und sekundär den Schmelz zum Einsturz bringen, mußte es sogenannte Prädilektionsstellen geben, in denen sich für Mikro-Organismen günstige Bedingungen ergeben, um kariöse Zerstörungen zu erzielen. In diesem Sinne wies auch DUBS (1938) nach, daß feinste Schmelzsprünge einer Karies Vorschub leisten können. Aber nicht nur mit bakteriellen Mitteln, sondern auch mit biochemischen, chemischen und histologischen Forschungsmethoden versuchte man die Ursachen der Karies zu ergründen. Aus der Vielzahl der Arbeiten seien GOTTLIEB (1921), EULER (1939), sowie DERSELBE (1939), EHRISMANN (1944), MATHIS (1946), wie auch später BRAMSTEDT (1968) und NAUJOKS (1968) erwähnt.

MATHIS war es denn auch, der von den durch die vorwiegend bakteriologische Betrachtung des Kariesgeschehens geprägten Begriffen Infektion und Krankheit abrückte. Diese Begriffe, so meinte er, bedingen einen vitalen, aktiven Organismus. Der Schmelz hatte seiner Ansicht nach einen passiven Charakter. Kritisch äußerte er sich ebenfalls zu Isolationsversuchen von Keimen, die alle aus signifikanten Karieshöhlen stammen, mit deren Hilfe jedoch nie Karies ausgelöst worden sei. Dies war ein Hinweis, der gerade heute eine auffallende Parallele zeigen sollte.

Die Schmelzoberfläche wurde schon von BLACK - gegen Ende des letzten Jahrhunderts - und später von MILLER (1901) mit besonderer Aufmerksamkeit beobachtet. Sie äußerten sich weitblickend über die Funktion der Plaques, sowie der Bakterien, und sie hatten schon relativ exakte Vorstellungen über gewisse Vorgänge an der Schmelzoberflä-

che. Es waren BAUMGARTNER (1911), FLEISCHMANN (1921), wie später auch GREVE (1945) u.a., die sich besonders den Veränderungen am Schmelzoberhäutchen und an der Schmelzoberfläche zuwandten. In Weiterführung der Ansichten GOTTLIEB's (1921), der den eigentlichen Schutz vor Karies im Schmelzoberhäutchen sah, erklärten sie, daß unter dem Einfluß der Bakterien zunächst die organischen Bestandteile des Schmelzes herausgelöst würden. Säurewirkungen sollten dabei nicht zum Tragen kommen. Die Versuche, Reagenzien zu finden, die die Resistenz des Schmelzes erhöhen könnten, liefen logischerweise parallel; ANDRESEN (1921), BOYD (1939), BIBBY (1940), COX (1940), VOLKER (1941), ARNOLD (1962) und FORREST (1964).

Daneben wurden Versuche unternommen, die Schmelzlöslichkeit zu erforschen. KAPUR und FISCHER (1961) setzten mechanisch vorbehandelte Schmelzpartien einer 1-molaren Milchsäure von pH 5 aus, und sie stellten fest, daß die Löslichkeit durch die Säure und damit deren Eindringtiefe bei Schmelzpartien, die mit einer Diamantscheibe bearbeitet worden waren, wesentlich größer war, als bei unbehandelten und auch bei mit Karborundscheiben angeschliffenen Schmelzpartien. Dagegen erwiesen sich mit einer Gummipolitur versehene Schmelzflächen resistenter gegen die Säure als die natürlichen Kontrollflächen. Die Löslichkeit der diamantbeschliffenen Flächen konnte durch eine nachträgliche Gummipolitur wieder verringert werden, erreichte jedoch nicht mehr die Werte eines unbehandelten Zahnes.

CROUSE (1954) wiederum stellte bei vergleichenden Löslichkeitsuntersuchungen zwischen Gummipolitur und Sandpapier-Anschliff keine auffallenden Unterschiede in der gelösten Ca- und P-Menge fest. Auch bestand keine Beziehung zwischen gelöster Menge der Säure und deren Eindringtiefe. Das Verhältnis der Löslichkeitsrate beider Ionen Ca/P lag nur un-

wesentlich höher als die bei unbehandeltem Schmelz bekannte Relation 2:1. Eine Herabsetzung der Löslichkeitsrate für Ca und P erkannte man nach Applikation von Metallfluoriden; SUESS (1951), KAPUR (1961), ERICSON (1950), van HUYSEN (1948).
ERICSON schreibt die wesentliche Wirkung den Sn- und Pb-Ionen zu. Vergleichswerte aus impaktierten, wie auch aus durchgebrochenen "natürlichen" Zähnen lieferten BRUDEVOLD (1948), SUESS (1951) und SULLIVAN (1954). Gleichzeitig soll durch die Fluoridierung eine deutliche Härtung der obersten Schmelzschicht erfolgen; PHILIPPS (1948), KNAPPWORST (1952), KÖNIG (1967), MÜHLEMANN (1967). Hieraus kann man die positive Bewertung der Fluorprophylaxe entnehmen und als überraschendes Ergebnis die Tatsache, daß eine kurzzeitig mit einer Gummipolitur versehene Schmelzfläche eine größere Resistenz gegen Karies aufweisen soll, als die unbehandelte, natürliche Schmelzfläche.

Der Versuch, diese Erscheinung zu erklären, wurde unternommen. LENZ (1952) sprach von einem "quasi viskösem Fließen" der Kristallenden unter den punktförmig sehr hohen Druckverhältnissen von 5×10^3 bis 5×10^5 atü. Analog zur Bildung der sogenannten Reileigh-Beilby-Schichten an Metallflächen kann man sich den Vorgang an der Schmelzoberfläche in einem Verschmieden der Kristallenden, und damit in einer Verkleinerung der interkristallinen Zwischenräume vorstellen. Diese oberflächliche Verschiebung der Bauelemente ist von LENZ (1964) elektronenmikroskopisch untersucht worden und führte zu einer weitgehenden Untermauerung dieser oben erwähnten Theorie.

Allgemein läßt sich sagen, daß die Bemühungen, aus den Ergebnissen der umseitig angeführten Untersuchungen, d.h., der Kenntnis der exponierenden und disponierenden Faktoren, eine wirksame Kariesprophylaxe zu gewinnen, unbefriedigend waren. Man mußte erkennen, daß man mit kausa-

len Methoden das multikausale System der Karies nicht wirksam bekämpfen könne. Daher konzentrierte sich die Aufmerksamkeit in der Kariesforschung erneut in den letzten Jahren auf die Schmelzoberfläche und die an ihr ablaufenden chemisch-physikalischen Prozesse.

Nachdem frühere Bemühungen, kariesähnliche Läsionen experimentell in vitro und in vivo zu erzeugen, ohne Erfolg waren, wurde auf Grund neuer Erkenntnisse über die Ultrastruktur der Zahnhartsubstanz und verbesserte Untersuchungsmöglichkeiten neue Versuchsanordnungen entwickelt, die darauf abzielten, Karies experimentell in vitro zu erzeugen.

Durch angesäuerte Gelatine z.B. (in Milchsäure pH 3,85) gelang es, an der Schmelzoberfläche in vitro Veränderungen hervorzurufen, die den initialkariösen Veränderungen des "white spot" verblüffend ähnlich sehen; MÜHLEMANN (1960), BARTELT (1961), GRAY und FRANCIS (1963).

Durch elektronenmikroskopische Untersuchungen war man in der Lage, bisher nicht erfaßte ultrastrukturelle Veränderungen während der Initialphase der Karies zu darzustellen. Abdrücke von Bruchstücken, die durch die erweichte Zone des Schmelzes verliefen, wiesen in der Regel aus dem Schmelzgefüge herausgerissene Kristalle auf; LENZ (1964). Aus der Tatsache, daß in Abdrücken von Bruchstücken von normalem, unbehandeltem Schmelz nie solche Kristalle haften blieben, wurde geschlossen, daß zunächst ein Anlösen der interkristallinen Substanz und erst sekundär eine Entmineralisation der Kristalle erfolgt; SCOTT (1960), LENZ (1961).
Anders sieht dies bei Ätzversuchen aus, wo die einzelnen Kristalle an der gesamten Oberfläche Defekte aufweisen. Die Benetzung der Schmelzoberfläche durch organische Substanzen, wie z.B. auch dem ZOH, stellt damit in gewisser

Weise einen Schutzfilm gegen einwirkende chemische Noxen dar. Dies wäre gleichzeitig eine Erklärung des Phänomens, daß oberflächlich liegender Schmelz eine größere Resistenz gegen einwirkende Säure aufweist, als weiter in der Tiefe liegender Schmelz; YARDENI (1950), BLUSSRY (1955), BIBBY (1957).

Zwischenzeitlich war allerdings vorwiegend die Meinung vertreten, daß die oberflächlich liegende Schmelzschicht sich durch größere Härte auszeichnet auf Grund ihres höheren Mineralgehaltes; TORELL (1957), HALS (1955), DARLING (1956) und LYON (1958). Dem höheren Fluorgehalt wurde die größere Resistenz zugeschrieben von HARDWICK, FREMLIN und MATHISSON (1958) und von ISAACK (1958). BRUDEVOLD und STEALMAN (1956), wie auch BUONOCORE und BIBBY schon 1948, begründeten die höhere Resistenz mit der Anwesenheit von Blei und Kupfer. Den Erkenntnissen um die Bedeutung der Schmelzoberfläche in ihrer Beziehung zum ZOH und darüber hinaus zur Plaques waren durch die Lichtmikroskopie deutliche Grenzen gesetzt. Auch verlangt die Multikausalität der Karies heute eine Vielfalt von Forschungsmethoden. Erst hochkomplizierte Untersuchungsmethoden, wie elektronenmikroskopische Untersuchungen; LENZ (1956), FRANK (1966) u.a., kristallchemische Untersuchungsmethoden wie Elektronenstrahlen-Mikroanalyse; VAHL (1966), Röntgen-Feinstruktur-Analyse; NIXON (1960), NEWESELY (1966), DUNCUMB (1962) und Laser-Mikro-Emissions-Analyse; LAWRENCE (1964), MOENKE (1966), haben die Erforschung der Feinstrukturen an der Schmelzoberfläche wesentlich vorangebracht. Bei all den Bemühungen, den Ablauf des kariösen Prozesses zu erfassen, gelang es jedoch nur mehr oder weniger zufällig, exakt das Initialstadium der Karies zu erfassen. Allgemein wurden Zähne mit gesundem, normalstrukturiertem Schmelz, oder Zähne mit klinisch manifester Karies mehr oder weniger großen Umfanges untersucht.

Es mußten daher Versuchsanordnungen gefunden werden, die es gestatteten, den Kariesbeginn in vivo experimentell zu bestimmen und die Schmelzoberfläche derartig beeinflussen zu können, daß man auf den Kariesablauf direkt oder indirekt einwirken konnte.

Einen Erfolg, solche kariesähnlichen Veränderungen zu schaffen, versprach jedoch erst eine Methode, die es gestattete, den Vorgang der Kariesgenese möglichst zu systematisieren. Ort und Dauer des kariösen Prozesses sollten möglichst kontrollierbar sein. Sie sollten sich darüber hinaus, soweit das unter physiologischen Bedingungen überhaupt möglich ist, reproduzieren lassen.

Mit der Goldplattentechnik kamen ÖSTBY und VON DER FEHR (1957) dieser Forderung am nächsten und waren tatsächlich in der Lage, kariöse Veränderungen an der Schmelzoberfläche zu erzielen. Sie befestigten an kariesfreien, aus kieferorthopädischen Gründen zur Extraktion bestimmten Zähnen mit Hilfe von Platinstiften Goldplättchen, und zwar derartig, daß zwischen Plättchen und Zahnoberfläche ein Zwischenraum entstand und somit ähnliche Bedingungen geschaffen wurden, wie sie im Approximalraum herrschen; Bedingungen also, unter denen bevorzugt Karies entsteht.

Da jedoch in der Zwischenzeit von KÖHLER und SPANOUDAKI (1965) nachgewiesen werden konnte, daß sich auch an pulpatoten Zähnen kariöse Defekte entwickeln, soll in der vorliegenden Arbeit der Versuch unternommen werden, durch Modifikation der ÖSTBY'schen Methode die Möglichkeit zu schaffen, in einer Mundhöhle eine größere Zahl von Versuchseinheiten und -anordnungen zu erhalten. Ferner sollen durch die elektronenmikroskopische Untersuchung die ultrastrukturellen Veränderungen an den Zahnhartsubstanzen durch die so erzeugte Initialkaries erfaßt werden.

III. M A T E R I A L U N D M E T H O D E

Die Durchführung des Versuches entspricht weitgehend den Angaben ÖSTBY's über seine Goldplattentechnik. Während er jedoch seine Experimente an Zähnen Jugendlicher durchführte, die aus kieferorthopädischen Gründen nach Ablauf der Versuche extrahiert werden sollten, wurden hier - pulpatoten Zähnen entsprechend - Schmelzscherben verwendet.

Für die Versuchsdurchführung waren erforderlich:

A. Schmelzfacetten,
B. Goldplättchen,
C. Facettenträger.

A. Schmelzfacetten

Zur näheren Auswahl gelangten frischextrahierte Molaren, deren buccale Schmelzpartien bei Lupenvergrößerung keine kariösen Veränderungen aufwiesen. Diese Molaren wurden nach einer Reinigung mit rotierendem Bürstchen unter fließendem Wasser bis zum Beginn der Bearbeitung in einer feuchten Kammer aufbewahrt.

Mit Hilfe von Diamantscheiben wurden aus den buccalen Flächen dieser Zähne Facetten herauspräpariert, deren Form etwa Molarenfacetten entspricht, wie sie in Kronenbrücken-Arbeiten Verwendung finden. Bei der Präparation wurde eine Überhitzung durch Wasserberieselung vermieden. Sechs optimal erscheinende Facetten wurden für die nachfolgende Vorbehandlung ausgewählt. Diese Vorbehandlung erfolgte unmittelbar vor der Befestigung der Facette an dem noch zu beschreibenden Facettenträger. Sie zielte darauf ab, an einer Facette möglichst neben dem eigentlichen Versuch auch gleichzeitig einen Kontrollversuch durchzuführen. Dazu muß man sich die Facetten in ein linkes und ein rechtes

Arbeitsfeld aufgeteilt denken. Bei der 5. Facette ist die Hauptversuchsseite zusätzlich in ein oberes und ein unteres Arbeitsfeld untergliedert. Zur Anwendung kamen folgende Arbeitsgänge:

1) Gummipolitur 5 sec.,
2) Duraphatlack-Touschierung, fluorhaltig.

Diese Arbeitsgänge verteilten sich auf die zwei zur Auswertung gelangten Facetten wie folgt:

Fac. H/1:	unbearbeitete Kontrollfläche	Gummipolitur 5 sec.
Fac. H/3:	unbearbeitete Kontrollfläche	Duraphatlack-Touschierung, fluorhaltig

B. Goldplättchen

Die Herstellung der Goldplättchen erfolgte aus Kronenringblech der Stärke 0,25 mm. Sie wurden etwa nierenförmig und der Größe der Facetten entsprechend zugeschnitten. Gleichzeitig mit den Plättchen wurden auch die "Stifte" an den diagonal gegenüberliegenden Seiten mit ausgeschnitten. Diese "Stifte" sollen,nach einer Abknickung um 90 Grad und mit einer Retention versehen, später in die Schmelzfacette einzementiert werden.

C. Facettenträger

Für die Konstruktion des Facettenträgers wurden von der Versuchsperson Unterkieferabdrücke genommen und Modelle hergestellt. Die Facettenträger sollten im vestibulären Seitenzahnbereich des Unterkiefers liegen. Als Halte- und Retentionselemente dienten Adams- bzw. Ösenklammern, wie sie bei kieferorthopädischen Apparaten gebräuchlich sind. Die Herstellung erfolgte im Spritzgußverfahren mit Kunst-

stoff auf Metacrylat-Basis. Um Schleimhaut-Irritationen möglichst auszuschalten, mußte eine weitgehende Einschränkung der Extention und eine gründliche Politur angeschlossen werden (Abb. 1).

Um die Facetten im "Träger" befestigen zu können, wurden diese auf der Rückseite mit einer Retention versehen. Anschließend wurden sie in die Facettenträger eingelassen und mit Autopolimerisat fixiert. Es standen Facettenträger mit je drei Facetten zur Verfügung. Nach der oben erwähnten speziellen Vorbehandlung der Facetten konnten nun die Goldplättchen in auf den Facetten vorgebohrte Löcher einzementiert werden. Als Abstandhalter dienten jeweils zwei Cellophanstreifen von zusammen etwa 0,1 mm Stärke. Damit war der für die Retention der Plaques notwendige Abstand gewährleistet.

D. Versuchsablauf

Der Versuch wurde innerhalb eines Zeitraumes von 105 Tagen durchgeführt. Während dieser Zeit trug der Proband die Facetten bei Tag und bei Nacht im Munde. Unterbrochen wurde die Tragezeit jeweils zu den Hauptmahlzeiten, da die Kauleistung durch die Facettenträger beeinträchtigt war. Darüber hinaus mußte nach einer 14-tägigen Tragezeit eine Zwangspause von 7 Tagen eingelegt werden. Diese war wegen entzündlicher Erscheinungen auf dem Gingivalsaum nötig geworden. In diesen Pausen wurden die Facettenträger im Speichelbad aufbewahrt, das während der längeren Versuchsunterbrechung alle 4 bis max. 8 Stunden erneuert und bei ca. 37 Grad Celsius gehalten wurde. Um die Plaquesbildung unter den Goldplättchen zu fördern, wurde während der Tragezeiten kohlehydratreiche Nahrung aufgenommen (Schokolade, Kekse ...).

E. Vorbereitung der Facetten zur Auswertung

Die Facetten wurden zur elektronenmikroskopischen Auswertung wie folgt vorbereitet:

1) Fixieren in Osmium,
2) kurzes Wässern zur Entfernung überschüssigen Osmiums,
3) Alkohol 50%ig - 5 Min.,)
4) Alkohol 75%ig - 5 Min.,) Entwässe-
5) Alkohol 95%ig - 5 Min.,) rungsvor-
6) Alkohol absol. 2 x 10 Min.,) gänge
7) Styrol überspülen, 1 x 30 Min.,)
8) Styrol überspülen, 2 x 30 Min.,)
9) MIKROPAL^{R}/Styrol 1:1 plus Katalysator plus Beschleuniger, 1 Std. im Vakuum,
10) MIKROPAL^{R} plus Katalysator plus Beschleuniger, mehrere Stunden bei Zimmertemperatur,
11) Überführen d.Präparate in Behälter mit MIKROPAL^{R},
12) Polymerisation 12 - 36 Stunden bei 60 Grad C.

MIKROPAL wird von der Firma FERAK, 1 Berlin 47, Friedrichsbrunner Str. 3-5, geliefert.

Aus den in MIKROPAL^{R} eingebetteten Facetten wurden mit einer Diamantkreissäge Längsschnitte der Stärke 500 - 600 my hergestellt. Die Überhitzung und Austrocknung wurde durch ständige Wasserspülung verhindert. Auf jedem dieser Längsschnitte befand sich damit sowohl eine Arbeits- als auch eine Kontrollfläche. Sie entsprachen einer Form, wie sie zur Einbettung in Gelatinekapseln vonnöten sind. Hierzu wurden die Schnitte in mit MIKROPAL^{R} gefüllte aufrechtstehende Gelatinekapseln von zylinderförmigem Aussehen eingebracht. Anschließend wurde die Luft 15 Minuten lang mit einer Wasserstrahlpumpe im Exsikkator evakuiert. Dann erfolgte die 12- bis 24-stündige Polymerisation im Trocken-

schrank.Während der Polymerisation härteten die Kapseln aus, so daß nach zwei Tagen die Gelatinehüllen entfernt und die Vorbereitung für die Ultramikrotomschnitte beginnen konnte.

Die Präparate mußten so getrimmt werden, daß die lichtmikroskopisch ausgewählte Schicht - in diesem Falle die oberste Schmelzschicht - in einer Pyramidenspitze lag. Es wurden mit Diamantmessern bei einem Schneidewinkel von 50 Grad und einem Einstellwinkel von 4 Grad am Ultramikrotom (LKB-Ultratome, Typ 4800) Dünnschnittserien von 600 bis 700 Å Stärke hergestellt und auf Kupfernetzen, die mit Formvarfilmen überdeckt waren, aufgefangen.

Die Untersuchung der Präparate erfolgte mit einem Elektronendurchstrahlungsmikroskop der Firma SIEMENS & HALSKE AG, des Typs"ELMISKOP I A" bei einer Strahlspannung von 60 bis 80 KV.

IV. E R G E B N I S S E

A. Normale Schmelzoberfläche

Für die Untersuchung wurden die Facetten von klinisch kariesfreien buccalen Schmelzpartien frisch extrahierter Zähne ausgewählt. Diese buccalen Schmelzflächen wiesen keine Plaques auf, und etwa anhaftende Reste wurden durch sorgfältige Reinigung mit einer Bürste unter fließendem Wasser entfernt. Das typische elektronenmikroskopische Bild derartiger Schmelzpartien zeigt die Abbildung 2.

Die Hydroxylapatitkristalle des Schmelzes sind relativ dicht gelagert. Die Schmelzoberfläche wirkt selbst bei einer Vergrößerung von 17ooo:1 glatt, ohne daß nennenswerte Defekte zu erkennen sind. Obwohl dieser Facettenteil dem Einfluß der gleichen Mundhöhle (Träger des Halteapparates) über die gleiche Versuchsdauer hinweg ausgesetzt war, mit dem Unterschied jedoch, daß dieser Bereich der Facette nicht dem experimentell erzeugten, kariesfördernden Milieu unter dem Goldplättchen unterworfen war, sondern der natürlichen Selbstreinigung unterlag, hat sich keine Plaquesschicht ausgebildet. Nur gelegentlich fanden sich einzeln liegende Mikroorganismen.

B. Kontrollfläche unter dem Goldplättchen (Normale Schmelzfläche)

Die Untersuchung der Kontrollflächen, d.h. der Flächen, die zwar unbehandelt, jedoch für 105 Tage den kariesfördernden Bedingungen unter den Goldplättchen ausgesetzt waren, erbrachten folgende Ergebnisse:

Obwohl die Facetten von unterschiedlichen Zähnen und Pa-

tienten stammten, ergaben sich insgesamt betrachtet keine wesentlichen Unterschiede von Facette zu Facette. Innerhalb jeder Kontrollfläche jedoch war das Erscheinungsbild variabel.

1. Plaques

Die auffallendste Erscheinung ist die Bildung einer Plaquesschicht, die den Spalt zwischen den Goldplättchen und der Schmelzoberfläche ausfüllt. Das Bild der Plaques ist sehr abwechslungsreich in Bezug auf Art, Dichte der Lagerung und Funktionszustand der Mikroorganismen. Selbst auf kleinsten Bereichen treten diese Variationen auf. Die Skala der Erscheinungsformen der Plaques reicht von der dichten kompakten Lagerung der Mikroorganismen unterschiedlicher Form über einen losen Verband vereinzelt liegender Bakterien bis hin zu völligem Fehlen einer Plaques (Abb. 3 - 7).

In Bereichen mit dichter Plaques handelt es sich vorwiegend um rundzellige Mikroorganismen. Besonders häufig sind hier Mikroorganismen in der mitotischen Teilungsphase zu finden. Deutlich ausgeprägt ist die interbakterielle Zwischensubstanz (Abb. 3,4). Unmittelbar neben diesen eben beschriebenen Bereichen treten Bezirke auf, für die Abb. 5 typisch ist. Hier liegen die Mikroorganismen einzeln. Die Variabilität der einzelnen Arten ist besonders deutlich zu erkennen. Eine Zwischensubstanz, wie sie sich in der vorigen Abbildung durch eine gewisse Elektronendichte auszeichnet, ist hier nicht zu finden. Während in dichten Bereichen die Mikroorganismen durch die Osmiumfixierung eingefärbt sind und vital erscheinen, sind hier relativ viele geschrumpfte und fragmentierte Organismen zu sehen. Neben den zuvor beschriebenen Bereichen finden sich auch Bezirke, in denen nicht der ganze Raum zwischen Oberfläche und Goldplättchen ausgefüllt ist und sich nur eine zwei bis

drei Lagen umfassende Plaquesschicht gebildet hat (Abb.6). Auch Bereiche ohne Plaquesbildung waren anzutreffen. Lediglich einzelne organische Reste hafteten derartigen Oberflächen an (Abb.7).

Eine exakte Zuordnung der eben geschilderten Erscheinungsbilder in Bezug auf ihre Lage unter den Goldplättchen ist insgesamt gesehen nicht möglich. Oft liegen mehrere Formen in Bereichen weniger my dicht beisammen. Man hat jedoch den Eindruck, daß die lose Besiedlung von Mikroorganismen, wie sie in Abb. 5 typisch zum Ausdruck kommt, mehr in den zentralen Bereichen des Versuchsfeldes (Goldplättchen) vorkommt, während die dichte Plaques vorwiegend in den Randzonen liegt.

2. Schmelzoberfläche

An der Schmelzoberfläche sind im Vergleich zur normalen Oberfläche (Abb. 2) signifikante Veränderungen anzutreffen, die von einer leichten Auflockerung des Kristallgefüges und Bildung von Lücken zwischen den Kristallen bis zur Ausbildung von Mikrokavitäten reichen. Daneben konnten auch Remineralisationserscheinungen beobachtet werden.

Betrachtet man die Schmelzoberfläche unter der dichten Plaques (Abb. 3), so fällt auf, daß gegenüber der normalen Schmelzfläche (Abb. 2), die nicht unter dem kariesfördernden Einfluß der unter den Goldplättchen gebildeten Plaques lag, die Schmelzstruktur stark verändert ist. In dem nahe der Oberfläche liegenden Bereich ist das Kristallgefüge aufgelockert, und es treten Lücken zwischen den einzelnen Kristallen auf. Eine starke Vergrößerung aus einem ähnlichen Abschnitt zeigt dies deutlicher (Abb. 8). Neben diesen Auflockerungen ist gleich-

zeitig eine Kavitation der Schmelzoberfläche erfolgt, so daß die vorher glatte Oberfläche einen gezackten Verlauf zeigt. Die Mikroorganismen dringen gewissermaßen in den Schmelz ein, so daß diese Phase bereits als Beginn einer Schmelzkaries betrachtet werden kann.

Neben diesen, durch die Plaques verursachten kariösen Veränderungen, sind in unmittelbarer Nähe unter einer morphologisch nicht zu unterscheidenden ähnlichen Plaquesschicht keinerlei Veränderungen im Sinne eines initialkariösen Defektes zu beobachten (Abb. 4). Die Oberfläche erscheint intakt. Auch bei Schmelzoberflächen, die Verhältnisse aufweisen, wie sie in den Abbildungen 5, 6, 7 dargestellt sind, konnten keine wesentlichen Veränderungen der Schmelzoberfläche festgestellt werden.

Neben den beobachteten Auflösungserscheinungen des Schmelzes, konnten gelegentlich auch Remineralisationserscheinungen beobachtet werden (Abb. 7). Diese Bereiche zeichnen sich dadurch aus, daß in die Lücken zwischen den Kristallen bzw. auf die Schmelzoberfläche ein feinkörniges kristallines Material eingelagert wird. Im Verhältnis zu den Auflösungserscheinungen sind diese Bereiche jedoch sehr selten und scheinen bevorzugt in Zonen mit geringer Plaquesbildung zu liegen.

C. Gummipolierte Schmelzoberfläche

Die Untersuchung der gummipolierten Schmelzoberfläche, die ähnlich wie die Kontrollfläche (andere Hälfte der Facette) 105 Tage dem Mundmilieu ausgesetzt war, ergab ebenfalls eine Vielgestaltigkeit der Plaquesbesiedlung, die von der dichten Plaques (Abb. 9, 10) bis zu Be-

reichen mit vereinzelt liegenden Mikroorganismen reicht (Abb. 11,12) und entspricht den bereits bei den Kontrollflächen beobachteten Verhältnissen. Dies gilt ebenfalls für die Lagebeziehung zu den Goldplättchen und für den morphologischen Aufbau der Plaques.

Die Schmelzoberfläche weist nach der Behandlung noch auffallendere Veränderungen auf als die Kontrollfläche. Sie reichen von kaum wahrnehmbaren Veränderungen bis zu initialen Kariesdefekten. So konnte z.B. beobachtet werden, daß unter einer dichten Plaques in gewissen Bereichen keine Veränderungen auftraten (Abb. 9), an anderen Stellen dagegen konnten unter einer ähnlich aussehenden Plaques ausgeprägte Veränderungen der Oberfläche und Auflockerung der obersten Schmelzschicht beobachtet werden (Abb. 10). Neben diesen als Auflösungserscheinungen anzusprechenden Auflockerungen konnten auch Bereiche festgestellt werden, in denen diese durch kariöse Prozesse aufgetretenen Lücken zwischen den Kristallen durch Ausfällung von feinkristallinem Material wieder ausgefüllt wurden (Abb. 13). Noch deutlicher wird dies in anderen Bezirken, wo die oberste Schmelzschicht, die durch vorangegangene Entmineralisation zerklüftet erscheint, sekundär durch Ein- bzw. Auflagerung von feinkristallinem Material remineralisiert ist und saumartig der Schmelzschicht aufliegt (Abb. 11, 14).

Diese für die Gummipolitur charakteristischen Erscheinungsbilder waren sowohl unter dichter Plaques als auch unter einer losen Bakterienschicht anzutreffen. Gelegentlich konnte sogar eine zahnsteinähnliche Auflagerung von mehreren my beobachtet werden. Wie bei den Kontrollflächen konnten auch hier dieselben Relationen zwischen Plaques und Veränderungen an der Schmelzoberfläche festgestellt werden.

Allgemein ergaben sich im Vergleich zur Kontrollfläche derselben Facette, daß weniger superficielle Kristallauflockerungen, wie sie für die initiale Kariesphase typisch sind, auftraten. Dafür war jedoch die Kavitation der Schmelzoberfläche relativ größer.

D. Duraphat-Lackierung

Auch bei der mit Duraphat behandelten Oberfläche konnten alle bei den anderen Versuchen behandelten Plaquesformen vorgefunden werden, jedoch scheint die dichte Plaques vorzuherrschen, denn Schnitte von Regionen mit geringer Plaquesbildung waren selten anzutreffen. Im Gegensatz zu den anderen Präparaten waren jedoch - ähnlich wie bei Untersuchungen über die Zahnsteinbildung beschrieben - in gewissem Abstand von der Schmelzoberfläche Mineralisationsinseln innerhalb der Plaques zu beobachten (Abb. 15). Derartige erste Mineralisationen der Plaques waren vorwiegend im Zentrum der Versuchsfläche vorzufinden.

Während bei der Kontrollfläche und den mit Gummipolitur behandelten Schmelzflächen kariesähnliche Defekte, die bereits über die Phase der Auflockerung zu einer Kavität geführt hatten, relativ häufig anzutreffen waren, bestimmten Remineralisationserscheinungen das Bild der duraphatbehandelten Oberfläche. Bereiche mit Auflockerung des Kristallgefüges unter einer dichten mitotisch aktiven Plaques (Abb. 16) und Kavitationserscheinungen (Abb. 17) waren relativ selten anzutreffen. Dagegen dominierten Bereiche, in denen feinkristallines Material in dünner Schicht auf die Oberfläche aufgelagert und in evtl. vorhandene Lücken eingelagert wurde (Abb. 18, 19). Die Lackschicht des

Duraphats scheint im Verlauf der Tragezeit verloren gegangen zu sein. Nur gelegentlich hat man den Eindruck, daß gewisse Reste der Lackschicht erhalten geblieben sind, die eine direkte Auflagerung der Mikroorganismen auf die Schmelzoberfläche verhindert (Abb. 20). Bemerkenswert ist, daß in solchen Bereichen keine Veränderungen an der Oberfläche zu erkennen sind.

V. DISKUSSION

Ziel der Untersuchung war es, in vivo an vorher bestimmbaren Bereichen der Schmelzoberfläche eine Karies artificiell zu erzeugen. Darüber hinaus sollte die Schmelzoberfläche vor dem Versuch in unterschiedlicher Weise beeinflußt werden können, um den Einfluß von excitierenden Faktoren auf die Kariesentstehung erfassen und ihren Stellenwert im Verhältnis zu den disponierenden Faktoren beurteilen zu können. Außerdem sollte für die elektronenmikroskopische Untersuchung möglichst viel vergleichbares Material, das in der selben Mundhöhle den gleichen Bedingungen ausgesetzt war, zur Verfügung stehen. Diese Zielsetzung machte Modifikationen der ursprünglichen Östby'schen Methode notwendig.

Da KÖHLER und SPANOUDAKI (1965) nachgewiesen hatten, daß sich auch an pulpatoten Zähnen Karies erzeugen läßt, bot sich die Möglichkeit an, Schmelzfacetten zu verwenden. ÖSTBY dagegen war auf vitale, jugendliche Zähne angewiesen, die aus kieferorthopädischen Gründen extrahiert werden sollten. Der Anforderung hinsichtlich Umfang, Dauer und Variabilität waren dadurch Grenzen gesetzt. Die Möglichkeit, Facetten zu verwenden, bot einmal den Vorteil, eine Vielzahl von Zähnen an einem "Kunststoffträger" zu befestigen und dadurch alle Zähne den gleichen Versuchsbedingungen auszusetzen. Durch die Verwendung von Zähnen unterschiedlicher Herkunft ließen sich die durch die Struktur der Schmelzoberfläche bedingten disponierenden Faktoren ebenfalls beurteilen. Auch die Versuchsdauer und die Behandlung der Schmelzoberfläche läßt sich dadurch beliebig variieren.

ÖSTBY beschrieb, daß er bereits nach 60 Tagen initialkariöse Veränderungen an der Schmelzoberfläche polarisa-

tionsoptisch erfassen konnte. Um auch im Hinblick auf die in die Versuchsanordnung einbezogene kariesprophylaktisch wirksame Maßnahme der Touschierung mit fluorhaltigem Lack (Duraphat), die den Kariesbeginn nach Angaben in der Literatur hinauszögern soll, mit großer Wahrscheinlichkeit erste kariöse Veränderungen erfassen zu können, wurde die Versuchsdauer auf 105 Tage ausgedehnt.

Die Verwendung von Schmelzfacetten machte auch in technischer Hinsicht Modifikationen erforderlich. So mußte zunächst ein Kunststoffträger zur Aufnahme mehrerer Facetten konstruiert werden, der auch im bezahnten Gebiß getragen werden konnte. Darüberhinaus wurden anstelle der von ÖSTBY an den Goldplättchen angelöteten Platinstifte die Retentionen vereinfacht, indem sie aus dem Goldblech mit ausgeschnitten und um 90 Grad abgeknickt wurden. Im Versuch bewährte sich diese Konstruktion (Abb. 1).

Während der Versuchsdauer von 105 Tagen bildete sich unter allen Goldplättchen eine auch makroskopisch bereits sichtbare Plaquesschicht aus. Damit waren auch die Voraussetzungen für die Bildung von Karies gegeben. Im elektronenmikroskopischen Bild ist diese Belagbildung unter den Goldplättchen sehr vielgestaltig. Von vereinzelten oder lose angehäuften Mikroorganismen bis hin zu einem fest gefügten Verband unterschiedlicher Bakterien, deren innere Strukturen auch einen unterschiedlichen Funktionszustand erkennen lassen, sind alle Übergangsformen unter den Goldplättchen zu finden. Diese bis in die ultrastrukturellen Bereiche der einzelnen Mikroorganismen gehende Darstellung der Plaquesschicht, die bisher mit lichtoptischen Methoden nicht in diesem Ausmaße möglich war, bietet die Möglichkeit, die Funktion dieser Schicht neu zu beurteilen und den Begriff 'Plaques' zu definieren. Es treten zwar in der elektronenmikroskopischen Darstellung die einzelnen Mikro-

organismen deutlicher als bei jeder anderen Darstellung hervor - sogar der Funktionszustand der einzelnen Mikroorganismen läßt sich erfassen - doch sollte man auch hervorheben, daß die Mikroorganismen durch eine interbakterielle Substanz einen festen Verband bilden und sich dadurch eindeutig von losen Bakterienauflagerungen unterscheiden. Bei der Beurteilung der Plaques sollte man daher weniger von den Eigenschaften der einzelnen Mikroorganismen ausgehen (von denen ja auf kleinsten Bereichen bereits vielerlei Arten anzutreffen sind, wie die Aufnahmen zeigen), als vielmehr die Plaques als membranartiges Aggregat von fest miteinander verbundenen Mikroorganismen betrachten. Denn das Gesamtaggregat Plaques bestimmt den Einfluß, den dieses Gebilde auf die Schmelzoberfläche ausübt.

Die Untersuchungen zeigen, daß tatsächlich überall dort, wo Strukturen anzutreffen sind, die sich in diesem Sinne als Plaques ansprechen lassen, Veränderungen im Schmelz auftreten. Ferner zeigen sie, daß nicht alle Strukturen, die unter den Goldplättchen anzutreffen sind, auch als Plaques anzusprechen sind. Diese Unterschiede in Verteilung und Dichte der Mikroorganismen stehen in enger Beziehung zum Abstand des Goldplättchens von der Schmelzoberfläche und zum Rande des Goldplättchens. Im Gegensatz zum Kontaktpunkt bei Zähnen in der Zahnreihe, wo in der Regel eine mehr oder weniger punktuelle Retentionsstelle für Plaques gefunden wird, haben wir unter den Goldplättchen ein relativ großes Retentionsfeld vorliegen. Dies führt logischerweise zu unterschiedlichen Ernährungsbedingungen für Mikroorganismen und wird sichtbar in der Tatsache, daß sich die aktive, vitale, durch viele mitotische Zellteilungen charakterisierte Plaques, vorwiegend in den parazentralen Bereichen und Randzonen des Feldes unter den Goldplättchen gebildet hat, während

man in den zentralen Bezirken im wesentlichen eine lockere oder im Absterben befindliche Plaques vorfindet.

Diese Verteilung der Plaques findet sich im großen und ganzen unter allen Goldplättchen, unabhängig von der Vorbehandlung der Schmelzoberfläche. Lediglich in den zentralen Bereichen unter den Goldplättchen sieht man mehr Mineralisationsvorgänge innerhalb der Plaques im Sinne einer beginnenden Zahnsteinbildung, wie sie unter anderem von LENZ und SCHLIEPE (1972) beschrieben wurde. Für die Duraphat-lackierte Fläche scheinen diese Mineralisationsvorgänge in der Plaques geradezu charakteristisch zu sein.

Insgesamt aber läßt sich sagen, daß die Vorbehandlung der Schmelzoberfläche auf die Struktur und den Funktionsgrad der Plaques nur einen unwesentlichen Einfluß hat.

Dagegen konnten unter den Versuchsbedingungen an der Schmelzoberfläche unter allen Goldplättchen Veränderungen unterschiedlichen Ausmaßes festgestellt werden, die auch innerhalb einer Facette variieren. Sie reichen von der normalen, kaum veränderten Schmelzoberfläche über eine Auflockerung des mikrokristallinen Gefüges und Defektbildung in der Oberflächenkontur bis zu Remineralisationserscheinungen. Dies kann als Beweis gewertet werden, daß unter den durch die Versuchsanordnung artificiell geschaffenen kariogenen Bedingungen tatsächlich Veränderungen des Schmelzes erzielt werden. Diese Veränderungen entsprechen in allen Punkten den in der Literatur beschriebenen ersten Phasen der Karies. LENZ und FRANK stellten fest, daß der kariöse Vorgang damit beginnt, daß in der ersten Phase der Karies es zu einer Auflockerung des Kristallgefüges kommt. Die Kristalle werden von der Fläche her abgebaut, wodurch sich die interkristallinen Lücken

vergrößern. Betrachtet man die Aufnahmen (Abb. 3,8,10,13), so bestätigen sie diese Auffassung und rechtfertigen die Feststellung, daß es sich bei den beobachteten Veränderungen um kariöse Defekte handelt. Sieht man die Lokalisation dieser Defekte in Relation zur darüber liegenden Plaques, so erkennt man deutliche Zusammenhänge. Defekte sind vorwiegend dort anzutreffen, wo eine dichte vitale Plaques in vorher festgesetztem Sinne vorliegt. So konnten regelrecht aus dem Verband herausgelöste Apatitkristalle, die in ihrer Größe von kleinsten Kristallteilen bis nahezu Normgröße variieren, eingeschwemmt in die interbakteriellen Zwischenräume der unmittelbar dem Schmelz aufliegenden Plaques gefunden werden. Die Formen dieser Kristalle wirken nicht fragmentartig, sondern abgerundet. Dagegen sind Bereiche mit loser Bakterienansiedlung fast unverändert. Diese Verhältnisse waren auf allen untersuchten Schmelzstellen anzutreffen.

Obwohl sämtliche Schmelzflächen für die Versuchsdauer von 105 Tagen den gleichen Milieubedingungen ausgesetzt waren, ergaben sich innerhalb einer unbehandelten Schmelzoberfläche die unterschiedlichsten Reaktionen auf den kariogenen Einfluß. Es konnte erwartet werden, daß unter den gleichen äußeren Bedingungen auch die an der Schmelzoberfläche ablaufenden chemisch-physikalischen Vorgänge gleiche oder ähnliche Veränderungen hervorrufen würden. Auf der anderen Seite zeigen unbearbeitete Schmelzflächen, die von unterschiedlichen Zähnen und Patienten stammten, nach 105 Tagen kaum Unterschiede in der Skala der Veränderungen. Diese Veränderungen stehen in einer gewissen Beziehung zur Plaquesschicht, so daß gesagt werden kann, daß sich in Bereichen mit dichter Plaquesauflagerung deutlichere Schmelzveränderungen zeigen als in Bereichen lockerer Plaquesbesiedlung. Daraus läßt sich schließen, daß die Plaques den maßgebenden Einfluß auf die Defekt-

bildung in der obersten Schmelzschicht hat.

Die markantesten Veränderungen an der Schmelzoberfläche wurden nach der Behandlung mit der Gummipolitur beobachtet. Auf der Abbildung 10 fallen auf den ersten Blick ausgeprägte Defektbildungen und zum anderen die Ausfällung von feinkörnigem kristallinen Material in Form eines feinen Saumes auf. Dies läßt auf einen erheblichen Einfluß der Gummipolitur auf das Verhalten des Schmelzes schliessen. Im Grunde spiegeln die Bilder ein gegensätzliches Geschehen wider - auf der einen Seite Demineralisation und im gleichen Bereich Remineralisation. Als Deutungsmöglichkeit bietet sich an, daß durch die Gummipolitur ein für die Mikroorganismen besonders günstiges Milieu geschaffen wurde, das zu einer starken kariösen Defektbildung geführt hat. Später aber ist es durch nicht bekannte Einflüsse in diesem Gebiet zu einer Remineralisation gekommen. Zieht man jedoch die Befunde von KAPUR und FISCHER (1961) in Betracht, die auf Grund von Löslichkeitsversuchen eine karieshemmende Wirkung der Gummipolitur festgestellt hatten, so bietet sich eine andere Deutung dieser widersprüchlichen Beobachtung an. Es könnte sich durchaus so verhalten, daß durch die Politur mechanische Defekte (eventuell im Sinne einer Ultraschallwirkung) gesetzt wurden, wodurch sich die bruchartigen Defekte erklären ließen. Die von KAPUR beobachtete, die Löslichkeit verringernde Wirkung, könnte mit der Einlagerung von Gummimaterial in die zwischen den Kristallen liegenden Lücken oder der Ausbildung eines unter den Druckverhältnissen und den dabei auftretenden Temperaturen sich verflüssigenden und auflagernden Gummifilms zu erklären sein. Nähere Aufschlüsse lassen sich jedoch erst durch weitere eingehende Untersuchungen, die außerhalb des Themas der vorliegenden Arbeit liegen, erbringen.

Die Behandlung der Schmelzoberfläche mit Duraphat bestä-

tigt den karieshemmenden Einfluß der fluornaltigen Lackschicht. Zwar sieht man nach dem Einwirken des kariogenen Milieus ebenfalls Bereiche mit oberflächlicher Strukturauflockerung des Kristallgefüges, mit Kavitationen und gar Herauslösung und Ausschwemmung von Apatitkristallen, jedoch sind solche Bereiche selten anzutreffen. Selbst unter einer dichten Plaquesschicht dominieren vorwiegend Bereiche ohne oberflächliche Schmelzveränderungen. Charakteristisch ist aber, daß sich häufig ein feinkörniges, kristallines Material im Sinne einer Remineralisation ein- bzw. aufgelagert hat.

Eine zwar nicht absolute, aber immerhin wirksame und unter den Versuchbedingungen erfaßbare karieshemmende Wirkung des Duraphates ist damit bestätigt. Sie scheint jedoch nicht nur auf einer Hemmung der Bakterienflora oder einer die Löslichkeit der Apatitkristalle verringernden Wirkung der F-Ionen zu beruhen, sondern auch die Lackschicht scheint eine wesentliche Rolle zu spielen. Diese Ansicht untermauern Bereiche, in denen sich noch Reste einer Lackschicht finden und unter denen sich keine Karies gebildet hat. Diese Bilder demonstrieren, daß unter einer abdichtenden Membran nichts passiert.

Abschließend kann gesagt werden, daß die klassische Auffassung über die Kariesentstehung richtig ist, das heißt, daß dort, wo Bakterien und spaltbare Kohlehydrate längere Zeit in engem Kontakt mit der Schmelzoberfläche liegen, sicher eine Karies entsteht. Darüber hinaus kann festgestellt werden, daß entgegen herkömmlicher Ansicht der Einfluß der Schmelzstruktur auf die Entstehung der Karies eine untergeordnete Rolle spielt. Dies wird dadurch deutlich, daß Zähne unterschiedlicher Herkunft und unterschiedlichen Alters bei gleichen Bedingungen gleich reagiert haben. Letztlich haben die Versuche erneut ge-

zeigt, daß Karies auch an pulpatoten Zähnen entstehen kann. Dies war jedoch gewissermaßen eine Bestätigung bekannter Tatsachen.

Neu hingegen ist die experimentell erzeugte und elektronenmikroskopisch dargestellte initiale Phase der Karies, die hinreichend beschrieben wurde. In diesem Zuge konnte festgestellt werden, daß man durch eine Behandlung der Schmelzoberfläche auf die Karies einen gewissen Einfluß nehmen kann. Die Fluorprophylaxe hat damit eine Bestätigung gefunden. Weiterhin kann durch die Tatsache, daß am toten Zahn Karies entstehen kann, geschlossen werden, daß die Karies in Bezug auf den Zahn eher eine Art exogener Korrosionsvorgang ist. Damit kann man von einem Krankheitsbegriff als Ausdruck für die Karies abrücken.

Aus dem Gesagten kann man in Bezug auf die Prophylaxe folgenden Schluß ziehen:

1. Da es sich bei dem Kariesprozeß um einen exogenen Korrosionsvorgang handelt, muß dieser Prozeß auch exogen beeinflußbar sein.

2. Die Versuche haben die Erkenntnisse gebracht, daß durch die Behandlung der Schmelzoberfläche die Karies tatsächlich beeinflußbar ist. Speziell bei der Fluorlackierung ist deutlich geworden, daß dies möglich ist, ohne die Plaquesschicht ausschalten zu müssen. Die Tatsache, daß unter einer dichten Plaques bei Erhaltung der Lackschicht die Schmelzoberfläche unverändert geblieben ist, hat den Blick für eine vielversprechende Prophylaxe eröffnet - der Prophylaxe, die Schmelzoberfläche mit einem Lack zu versiegeln.

VI. Z U S A M M E N F A S S U N G

Mit Hilfe einer modifizierten Goldplattentechnik nach ÖSTBY wurde über eine Versuchsdauer von 105 Tagen artificiell an pulpatoten Zahnfacetten Karies erzeugt. Die Schmelzoberfläche wurde verschieden vorbehandelt (Gummipolitur, Duraphatlack), um den Einfluß der disponierenden Faktoren auf das Kariesgeschehen erfassen und ihre Wichtigkeit im Vergleich zu den excitierenden Faktoren beurteilen zu können.

Die Untersuchung wurde mit dem Elektronenmikroskop durchgeführt. Unter allen Goldplättchen hat sich eine in Struktur und Aufbau gleiche Plaquesschicht gebildet. Sie stand in enger Beziehung zum Abstand des Goldplättchens von der Schmelzoberfläche und zum Rande des Goldplättchens, ließ jedoch keine Abhängigkeit von der Vorbehandlung der Schmelzoberfläche erkennen.

Unter allen Goldplättchen haben sich während der Versuchsdauer von 105 Tagen initialkariöse Veränderungen an der Schmelzoberfläche gebildet. Sie sind unter gleichen Versuchsbedingungen innerhalb einer Facette sehr vielgestaltig, zeigen jedoch bei unbehandelten Facetten unterschiedlicher Herkunft bei gleichen Versuchsbedingungen kaum Unterschiede in der Skala der Veränderungen.

Durch die Vorbehandlung der Facetten mit einer Gummipolitur bzw. einer Duraphatlackierung ließ sich eine gewisse Einflußnahme auf das Kariesgeschehen erzielen. Die Gummipolitur zeigte einen gewissen karieshemmenden Effekt, indem eine zunächst vorhandene Defektbildung im Endeffekt durch eine Remineralisation wieder ausgeglichen wurde.

Diese Remineralisation war für die duraphatlackierte Fläche geradezu charakteristisch. Auch waren hier Schmelzveränderungen nicht so häufig anzutreffen wie bei der unbehandelten und der gummipolierten Fläche. Es konnten Bereiche gefunden werden, wo unter einer dichten Plaques bei erhaltener Lackschicht keine Veränderungen an der Schmelzoberfläche auftraten. Ohne Zweifel kann hier von einem Versiegelungseffekt gesprochen werden.

- - - - - - - - - - - - -

VII. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

ADOLPH,W.: Elektronenmikroskopische Untersuchung an maschinell bearbeiteten Dentinoberflächen von Zähnen mit lebender Pulpa, DZZ 1958/13/635-644

APPLEBAUM,E.: The radiopaque surface layer of enamel and caries, J.D.Res. 1940/19/41-46

BEILBY,G.T.: Surface flow in crystalline solids under mechanical disturbance, Proc. roy. Soc.1903/72a,218

BERLIN,V.: Elektronenmikroskopische Untersuchung mechanischer und chemischer Verletzungen des Schmelzes, Proc.of the 6th Congress of the Orca, Pavia 1959

BESIC,F.C.: Caries like Enamel Changes by Chemical Means, J.D.Res.1953/20/830

BIBBY,B.G., van HUYSEN: Changes on the enamel surfaces, a possible defense against dental caries, J.Am.dent.Ass.1933/20/828-839

BILBY,B.G.: Acid production and tooth decalcification of oral bacteria, J.D.Res.1942/21/61

BOWEN,W.H., EASTOE,J.E.: Einfluss von Zuckerlösungen auf den pH-Wert von Plaques bei karies-aktiven Affen, Arch.Oral Biol.II/1966/8/833

BOYD,T.M.: Window technic for enamel solubility studies, J.D.Res.1950/29/675

BRUDEVOLD,Finn.: Study of the Phosphate solubility of human Enamel surface, J.D.Res.1948/27/320

BUONOCORE,M.G.: The effect of various Jons on Enamel solubility, J.D.Res.1945/24/103

CARLSTRÖM,D., GLAS,J.E., ANGMAR,B.: Studies on the ultrastructure of dental Enamel, J.Ultrastruct.Res. 1963/8/24-29

CRABB,H.S.M.: Enamel caries, Observation on the histology and pattern of process of the appr. caries lesion, Brit.D.J.1966/121/115-129/167-174

CROUSE, YOYCE: Enamel solubility of polished and raughened surfaces, Ann.Dent. 1954/13/37

DARLING,A.J.: Studies of the early lesions of enamel caries. Mode of spread and points of entry, Brit.D.J.1956/105/119

DARLING,A.J.: Mechanisms of hard tissue destruction 1963 (Edited by Sogunaes,R.F.)Chap.6/pp. 171-186 American Ass.for the Advancement of Science, Washington D.C.

DUNCUMB,P.: An electron-optical bends for microscopy, diffraction and x-ray microanalysis, Fifth Intern.Congr. Electron.-Microscopy, Philadelphia, KK-4 (1962)

ERICSON,J.: Reduction of the solubility of enamel surfaces, Acta odont. Scand. 1950/9/60

FRANK,R.M., BRENDEL,A.: Ultrastructure of the approx.dent. plaque and the underlying normal and carious enamel, Arch. Oral Biol. II/1966/9/883-913

FRANK,R.M., CAPITANT: Electronprobe studies of human enamel, J.dent.Res.1966/45/672-682

FRAZIER: Adult human enamel: An electr. microsc. study of crystallite size and morphology, J. Ultrastruct. Res.1968/22/I-II

GRAY,J.A., FRANCIS,M.D.: Mechanisms of hard tissue destruction 1963 (Edited by Sogunaes,R.F.) Chap. 8, pp 213-260

GRAY,J.A.: Kinetics of enamel dissolution during formation of incipient caries-like lesions, Arch.Oral Biol. 1966/II/397-421

GUZMAN,C., BRUDEVOLD,F.: A soft roentgen-ray study of early carious lesions, J.Americ.dent.Ass.1957/55/509-515

HALS,E., MÖRCH, SAND,: Effect of lactate buffers on dent. enamel Polarizing microscopy, Acta odont.scand. 1955/13/85-122

HARDWICK,J.L., FREMLIN,J.H., MATHIESON,J.: Brit.dent.J. (1958) 104/47

HELMCKE,J.G.: Atlas des menschlichen Zahnes im elektronenmikroskopischen Bild, Zweiter Teil, Berlin 1957

HELMCHE,J.G., NEUGEBAUER,: Verbesserte Präparationsmethoden zur elektr.-mikr.Untersuchung der Schmelzkaries an menschlichen Zähnen, D.Z.Z.1965/20/H.6/697

HERTING,H.C.: Elektronenmikrosk.Beob.an kariösem Dentin, D.Z.Z.1965/20/H.6/704

HOUVER,G.: Ultrastruct.signif.for histochemical react. of the enamel surface of erupted human teeth, Arch.Oral Biol.1967/12/1209-1210

ISAAC,S., BRUDEVOLD,F.: J.dent.Res. (1958), 37/254

JOHNSON: Some aspects of the ultrastruct. of early human enamel caries seen with the electr. microscope, Arch.Oral Biol.1967/12/1505-1521

JORDAN,H.V., KEYES: In vitro-Methode für das Studium der Plaques und Kariesbildung, Arch.Oral Biol.1966/II/H.8/793

KAPUR,K.K., FISCHER: Effect of surface alteration on the permeability of enamel to a lactate buffer, J.D.Res.1961/40/1174-1182

KNAPPWOST,A.: Grundlagen der Resistenztheorie der Karies mit einem Beitrag über die karieshemmende Wirkung peroraler Fluorgaben, D.Z.Z.1952/7/670

KÖNIG,K.G.: Kariesprophylaxe durch lokale Fluoranwendung, Schweiz.Maschr.Zahnheilk.1967/77/555-569

LAWRENCE,L.G.: Grundlagen der Lasertechnik, Wintersche Verlagshandlung, Prien 1964

LEACH,S.A., SAXTON: An electr.microsc.study ... Elektr.mikrosk.Studie über erworbene Schmelzoberhäutchen und Plaques, die am Schmelz menschlicher Frontzähne gebildet wurden, Arch.Oral Biol. 1966/II/H.II/1081

LENZ,H.: Elektr.mikrosk.Untersuchung bei beginnender Schmelzkaries, Zahnärztliche Rundschau 1952/65/285

LENZ,H.: Elektr.mikrosk.Unters.der Mineralisation des Zahnschmelzes und der beginnenden Schmelzkaries, Arch.Oral Biol. 1956/Spec.Suppl.4/34-39

LENZ,H., MÜHLEMANN,H.R.: In vivo and in vitro effects of saliva on etched or mechanically marked enamel after certain periods of time, Helv. odont. Acta 1963/7/30-33

LENZ,H., MÜHLEMANN,H.R.: Repair of etched enamel exposed to the oral environment, Helv.odont,Acta 1963/7/47-49

LILIENTHAL,B.: The hardening and softening of human tooth enamel, Austr.D.R.1968/13/219-230

LITTLE,K.: Electrone microscope studies in human dental enamel, J.Roy.Microscop.Soc. 1959/78/58-66

LYON,D.G., DARLING,A.J.: Orientation of the crystallites in human dental enamel (I), Brit.dent.J. 102,483 (1957)

MOENKE,H.: Einführung in die Laser- Mikro- Emissions-Spektralanalyse, Technische - Physikalische Monographien, Band 21, Geest & Portig, Leipzig 1966

MÜHLEMANN,H.R.: Die kariesprophylaktische Wirkung der Aminfluoride, Quintessenz zahnärztl.Lit. Referat Nr. 3192 (Heft 5-8) 1967

NEWESELY,H.: Kristallchemische Kennzeichen der Kariesinitialzone im subsurface-Bereich des Zahnschmelzes, D.Z.Z. 1966/21/1098-1102

NIXON,W.C.: A double gun electron microscope for selected area analysis, Proc.Intern.Conf. Electron-Microscopy, Delft 92 (1960)

ÖSTBY,N.T., MÖRCH, HALS,E.: A method for caries production on selected tooth surfaces in vivo, Acta odont.scand. 1957/15/357-363

PHILLIPS: Effect of the fluorids on hardness of tooth enamel, J.of the A.D.Ass.1948/37/1-13

RÖNNHOLM,E.: The amelogenesis of human teeth as revealed by electron microscopy, The development of the enamel crystallites, J. Ultrastruct.Res.1962/6/249-303

SCHLIEPE,H.: Elektronenmikroskopische Untersuchung über d.subgingivalen Zahnstein, Zahnmed.Diss., Berlin 1972

SILVERSTONE: The surface-zone in caries and caries like lesions, Brit.D.J.1968/125/145-157

SONI,N.N., BRUDEVOLD: Microradiographic and polarized ... of initial carious lesion, J.D.Res.1960/38/1187-1194

SPANOUDAKI,A.: Verlauf der Karies am pulpatoten Zahn, Med.Diss. Berlin 1965

SPEIRS,R.L.: The nature of surface enamel, Brit.dent.J.1959/107/209-217

SPERBER,G.H., BUONOCORE,M.G.: Enamel surface in "white spot" form, J.D.Res.1963/42/724-731

SUESS,PH.H.: The solubility of normal and fluorized enamel, J.D.Res.1951/30/177

SULLIVAN,H.R.: Phosphate solubility of human enamel surfaces, J.D.Res.1954/33/504

TAINTER,M.L.: Use of metal plates for testing the abrasivenes of detifrices, J.D.Res.1943/22/381

TAMURA,T., ASAKURA,Y.: Pharmacological studies of experimental caries in rats, J.of Nikon U.S.D. 7/1965/H.3/91

TORELL,P.: Direct observations of ultrastructural details in carious dental enamel, Odont.Tidskr. 65,24 (1957a)

VAHL,J.: Gesunder und pathologisch veränderter Zahnschmelz, Samml.Meusser,H.43 (1971)

VAN HUYSEN: Enamel solubility reducing effect of flavored concentr. of stannious fluorid sol., J.D.Res.1948/27/I

VON DER FEHR: Maturation and remineralization of enamel, Adv.Fluor.Res.1965/3/83-95

VON DER FEHR, STEINNES: The solub.rate of unabraded, abraded and exposed human enamel surfaces studied by means of activation analysis, Arch.oral Biol.1966/II/1405-1418

VON DER FEHR: The caries inhibiting effect of acid phosphate-fluorid tested by the gold plate technique, Adv.Fluor.Res.1966/4/121-135

VON D. FEHR: A study of carious lesion produced in vivo in unabreded, abraded, exposed and F-treated human enamel surfaces, with emphasis on the x-ray dense outer layer, Arch.oral Biol. 1967/12/797-814

VON D. FEHR: The caries inhibiting effect of sodium hexafluorstannate tested by the goldplate technic under various experiment. conditions, Caries Res.1968/2/57-68

VON D. FEHR: Experimental caries in man, Caries Res. 1970/4/131-148

Für die Überlassung des Themas, für die freundliche Unterstützung bei der Auswahl der zu bearbeitenden Literatur, sowie für die Vielfalt der Anregungen möchte ich Herrn Professor Dr. H. L E N Z vielmals danken.

Darüberhinaus fühle ich mich Frau H. A D A M für ihre Mithilfe auf dem technischen Sektor zu Dank verpflichtet.

L E B E N S L A U F

Am 23.6.1940 wurde ich in Berlin als Sohn des Dipl.Ing. Harry Hammler und seiner Ehefrau Paula, geb. Wellschmied geboren.

1947 wurde ich in Rothenburg o/T. eingeschult, wo ich auch 1952 die Aufnahmeprüfung ins Gymnasium bestand. Bedingt durch die Versetzung meines Vaters, erfuhr ich meine weitere schulische Ausbildung in Fellbach/Württ., wo ich dann 1961 das Abitur bestand. Anschließend folgten 18 Monate Wehrdienst bei der Bundeswehr, die ich als Leutnant d. Res. verließ.

1962 begann ich an der Freien Universität Berlin das Studium der Zahnmedizin. Nachdem ich 1965 die zahnärztliche Vorprüfung bestanden hatte, legte ich 1968 ebenfalls in Berlin das Staatsexamen ab und erhielt die zahnärztliche Approbation.

Einem halben Jahr zahnärztlicher Tätigkeit in der freien Praxis folgte bis 1971 die Anstellung als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin. Seit 1971 bin ich in eigener Berliner Praxis tätig.

1969 begann ich mit der Anfertigung der vorliegenden Dissertation.

A B B I L D U N G E N

Die Vergrößerungen der einzelnen Aufnahmen sind dem auf den Abbildungen eingetragenen Maßstab zu entnehmen.

Abb. 1: Distaler Teil des Facettenträgers. Halteelement und Schmelzfacette mit aufzementiertem Goldplättchen.

Abb. 2- 8: Normale unbehandelte Schmelzflächen unter dem Goldplättchen nach 105 Tagen

Abb. 2: Normale Schmelzfläche ohne Plaques.

Abb. 3: Initiale kariöse Veränderungen unter einer dichten Plaques. Auflockerung der Kristallstruktur in der oberflächennahen Schmelzschicht und beginnende Kavitation mit vereinzelter Ausschwemmung von Apatitkristallen.

Abb. 4: Dichte Plaques, jedoch keine kariösen Veränderungen an der Schmelzoberfläche.

Abb. 5: Vereinzelt auftretende Mikroorganismen. Die Schmelzoberfläche zeigt keine Strukturauflockerung.

Abb. 6: Die Plaquesschicht füllt nicht den gesamten Raum zwischen Schmelz und Goldplättchen aus. Die Schmelzoberfläche weist keine Strukturauflockerungen im Sinne einer Initialkaries auf.

Abb. 7: Schmelzbereich ohne Plaquesauflagerungen. Zwischen den Kristallen sind geringe Remineralisationserscheinungen zu erkennen.

Abb. 8: Intakte Schmelzoberfläche unter dichter Plaques. In der Plaques erkennt man vorwiegend rundzellige Mikroorganismen. Deutliche Kavitation der Schmelzoberfläche im Sinne einer initialen Karies.

Abb. 9-14: Gummipolierte Schmelzfläche unter dem Goldplättchen

Abb. 9: Selbst unter dichter Plaques zeigt hier die Schmelzoberfläche keine kariösen Veränderungen. Die Plaques weist vorwiegend rundzellige, mitotisch aktive Mikroorganismen auf.

Abb.10: Schmelzoberfläche mit Auflockerung des superficiellen Kristallgefüges mit Herauslösung und Ausschwemmung der Apatitkristalle. Dichte, aktive Plaques.

Abb.11: Lockere Anhäufung von Mikroorganismen. Die Ausfällung von feinkristallinem Material an der Schmelzoberfläche verleiht der Oberfläche einen aufgerauhten Charakter, der aber nicht auf kariösen Vorgängen beruht, sondern auf die oben genannten Auflagerungen zurückzuführen ist.

Abb.12: Über einem Bereich mit deutlichen Mineralisationen sind nur vereinzelte Mikroorganismen anzutreffen.

Abb.13: In einem Bereich von wenigen my sind unter einer dichten aktiven Plaques neben initialkariösen Veränderungen auch Remineralisationserscheinungen in Form von feinkörnigen Ausfällungen zwischen den Kristallen nahe der Oberfläche erkennbar.

Abb.14: In die durch vorangegangene Entmineralisation zerklüftete Schmelzoberfläche hat sich ein feinkristallines Material ein- bzw. aufgelagert.

Abb.15-20: Mit Duraphat lackierte Schmelzoberflächne unter dem Goldplättchen

Abb.15: Plaques mit zahlreichen Mineralisationsinseln im Sinne einer ersten Zahnsteinbildung.

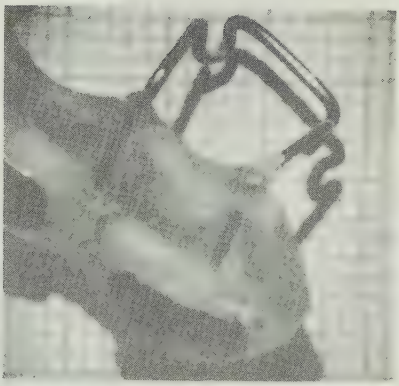
Abb.16: Unter einer dichten mitotisch aktiven Plaques lassen sich erste Auflockerungen des superficiellen Kristallgefüges erkennen.

Abb.17: Der Einfluß des kariösen Milieus hat bereits zu Kavitationen der obersten Schmelzschicht geführt.

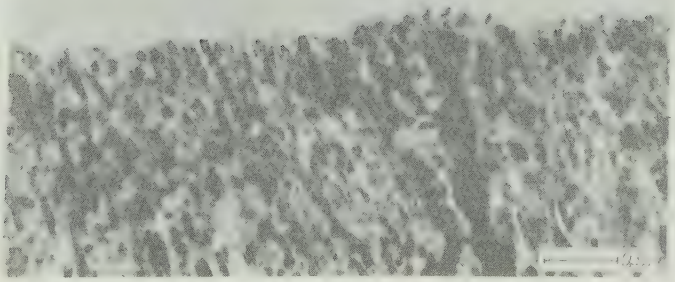
Abb.18: De- und Remineralisationen liegen eng beieinander. Ein feinkristallines Material hat sich im linken Teil als dünner Saum der Schmelzoberfläche aufgelagert. Im rechten Teil dagegen sind Auflösungserscheinungen im Sinne einer Entmineralisation zu erkennen.

Abb.19: Deutliche Mineralisationserscheinungen. Ein feinkörniges kristallines Material hat sich in die Schmelzoberfläche ein- bzw. aufgelagert.

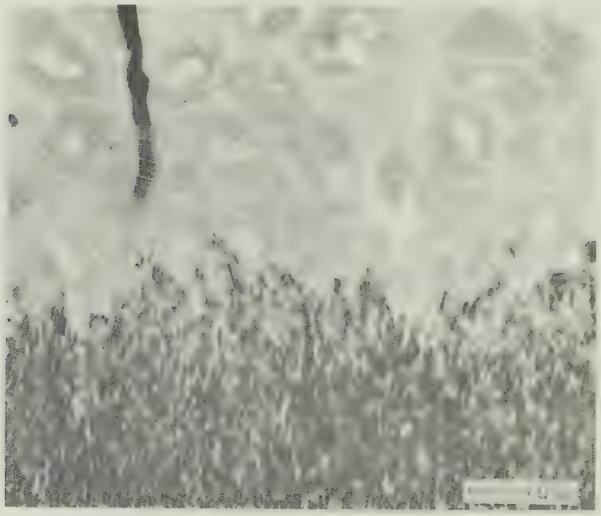
Abb.20: Schmelzoberfläche, die unter einer erhaltenen Lackschicht keine kariösen Veränderungen aufweist.



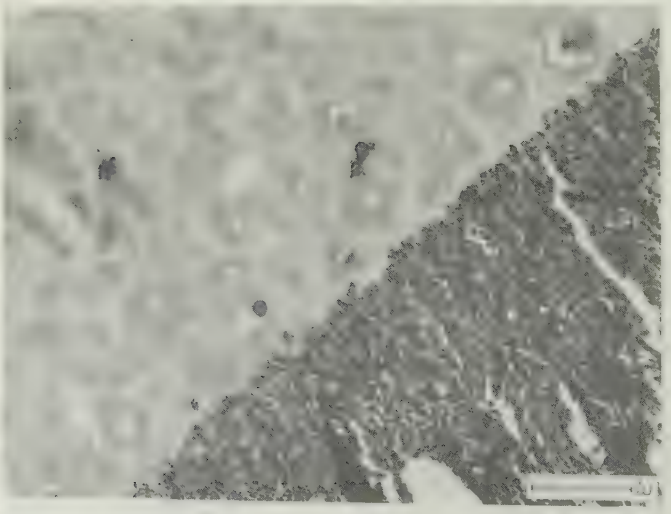
1



2

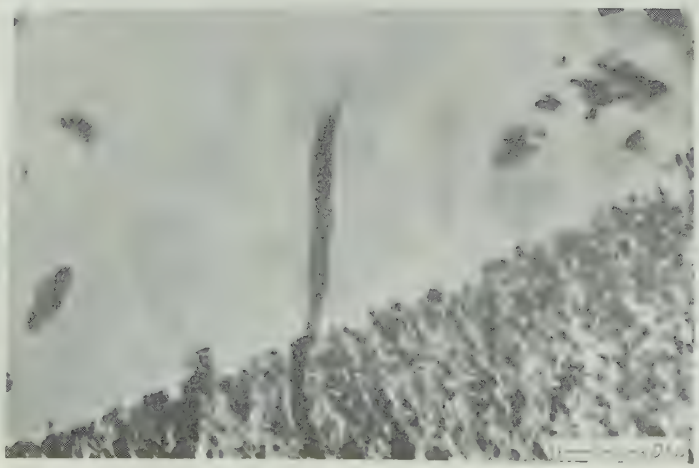


3

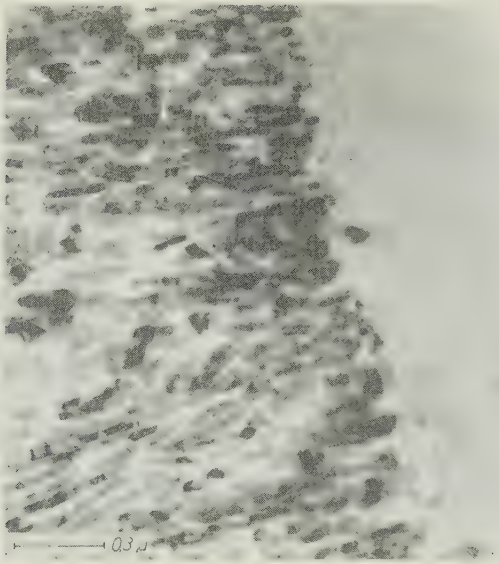


4

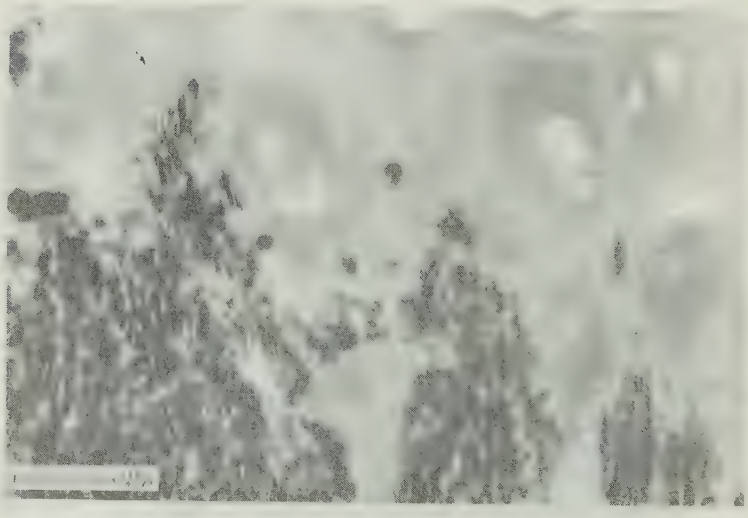
5



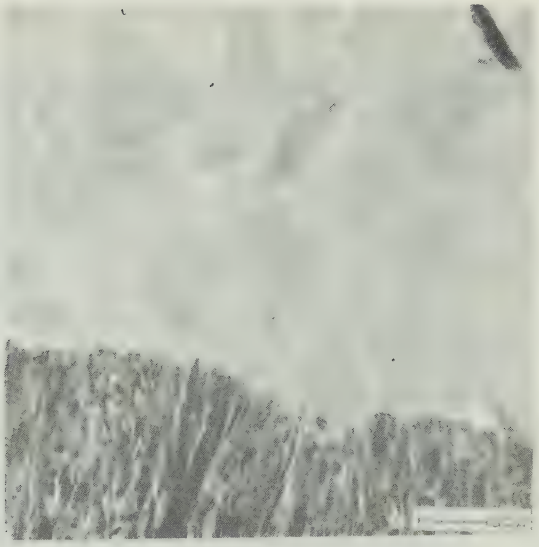
6



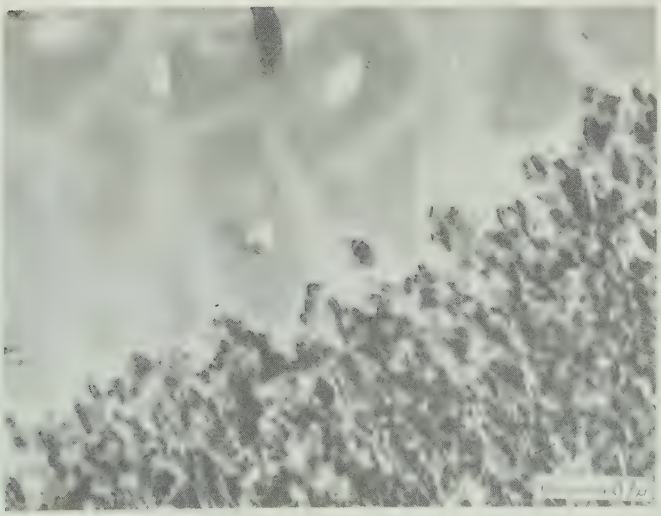
7



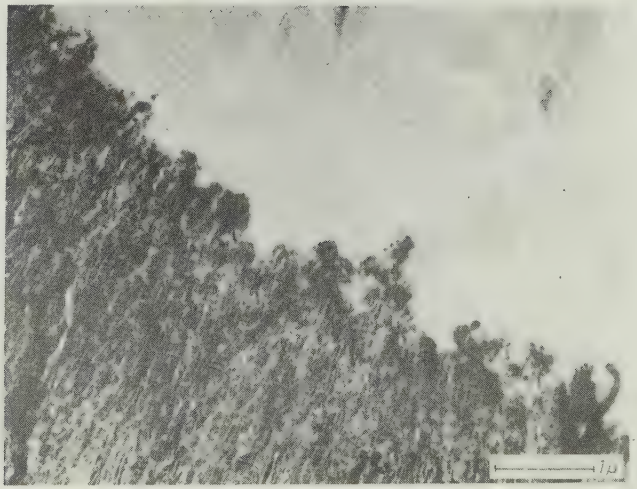
8



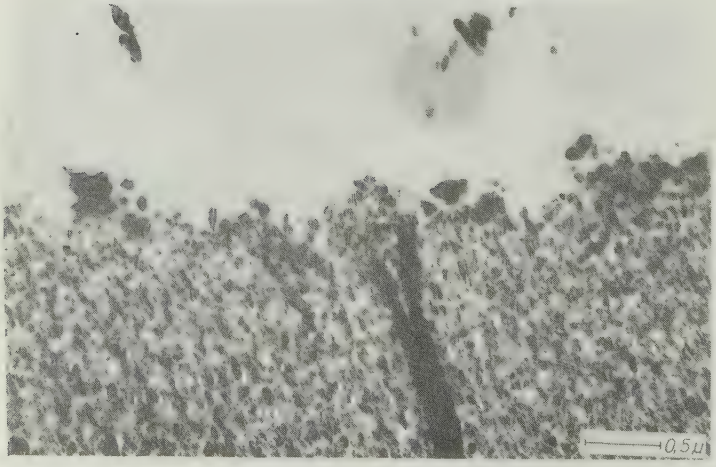
9



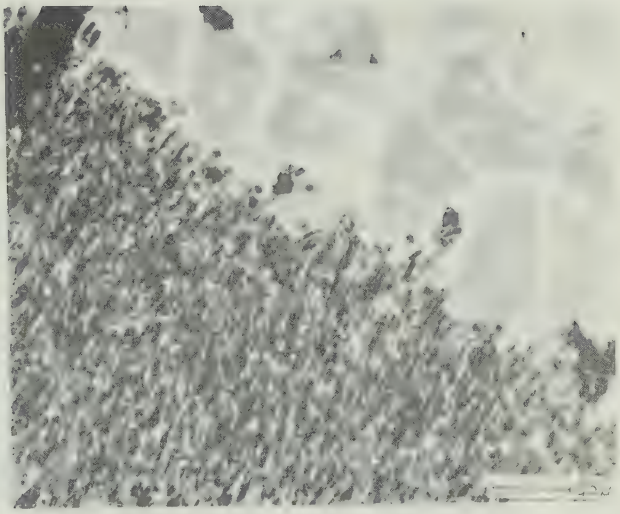
10



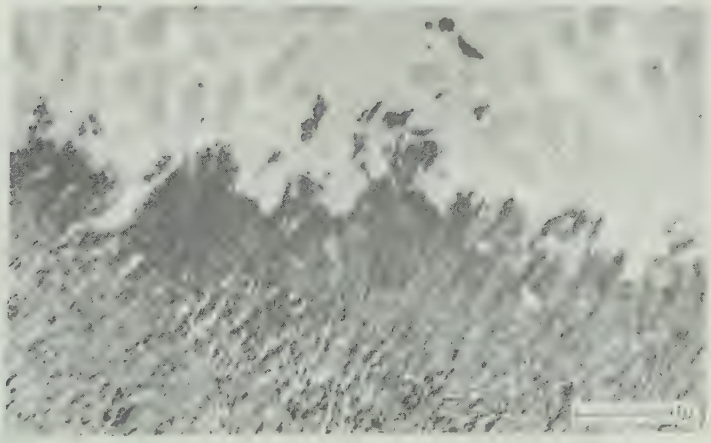
11



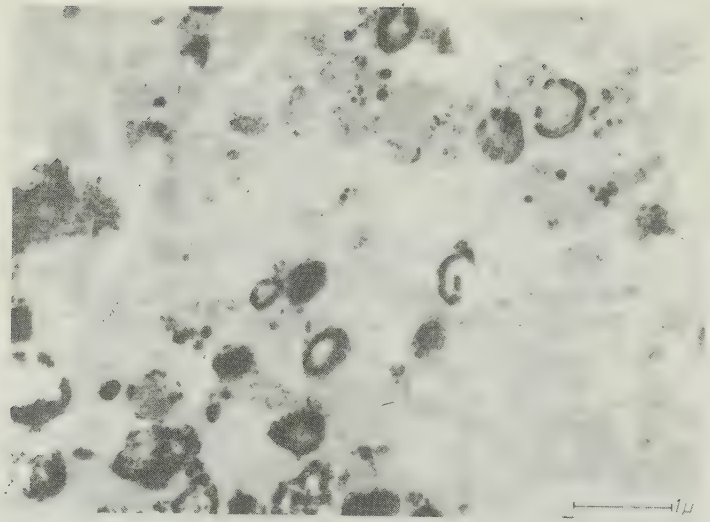
12



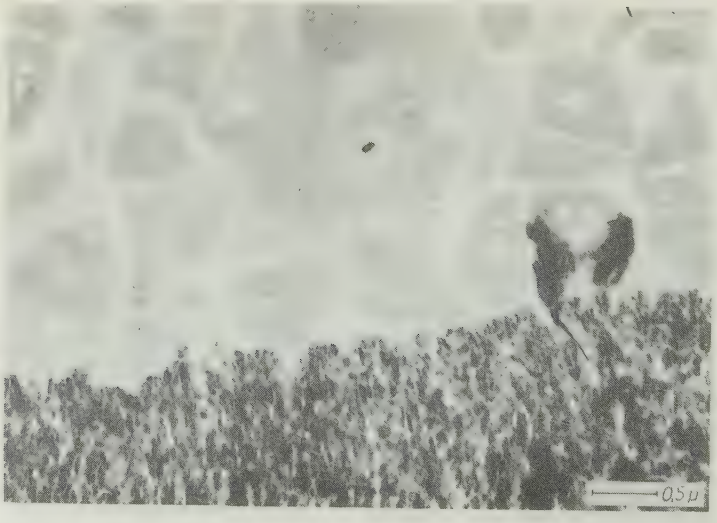
13



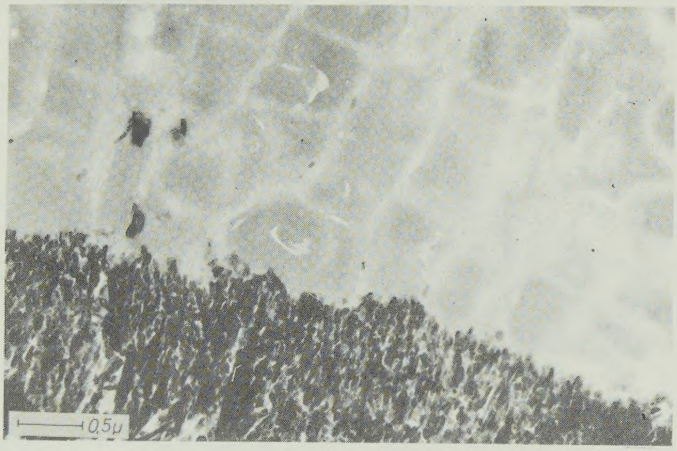
14



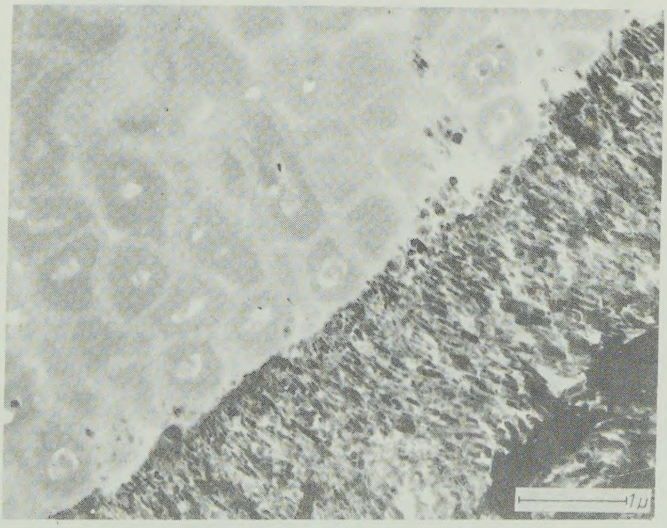
15



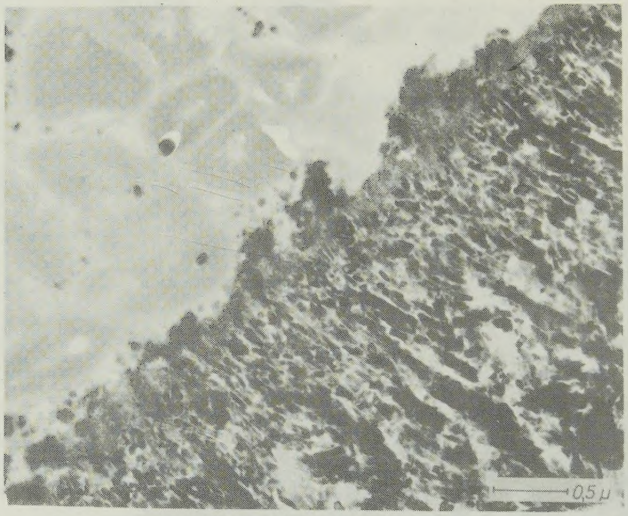
16



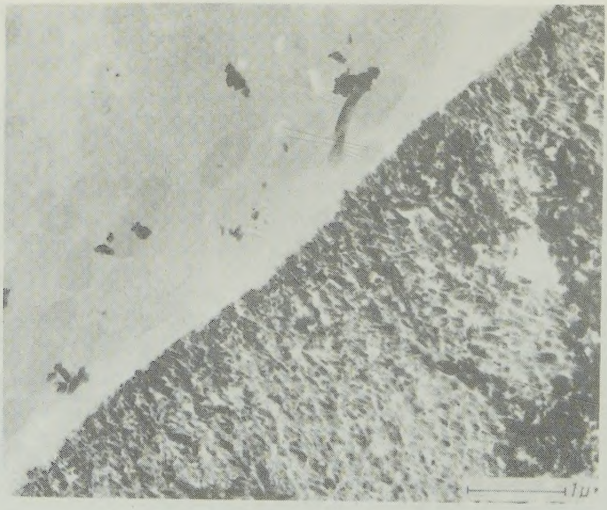
17



18



19



20